

## METODOLOGÍA DE DISEÑO DE CANALES DE DESVIACIÓN Y ZANJAS DE INFILTRACIÓN

### 1. INTRODUCCIÓN

La Ley de Fomento Forestal D.L. 701 bonifica la forestación y las actividades de recuperación y conservación de suelos, estas últimas con el objeto de mitigar y/o controlar la escorrentía superficial, principal causante de la erosión hídrica. El presente documento desarrolla una metodología de diseño de dos tipos de obras para laderas; canales de desviación de aguas y zanjias de infiltración, como apoyo para profesionales, que sin ser expertos en hidrología puedan desarrollar un diseño técnico de las obras descritas, utilizando datos accesibles de obtener en terreno y recopilando la escasa información disponible de precipitaciones, de la estación meteorológica más cercana del sector a tratar. Del punto de vista costo-beneficio, estas obras seleccionadas son de fácil construcción y bajo costos, en mano de obra e insumos. Por otra parte las zanjias de infiltración específicamente, son obras por excelencia captadoras de aguas lluvias, que implementadas en sectores con plantaciones forestales, éstas son directamente beneficiadas con una mayor disponibilidad hídrica. El presente documento recoge las mejoras sugeridas en el artículo Mauco Generalizado (Martínez de Azagra (2006), en lo que dice relación al diseño de sistemas de recolección de agua para la repoblación forestal (zanjias de infiltración)

Para facilitar la aplicación metodología, se desarrolla un software, de diseño de canales y zanjias de infiltración, como herramienta técnica, de fácil operatividad, adjunto a este documento.

### 2. ANTECEDENTES GENERALES A CONSIDERAR

Un buen diagnóstico del problema, toma de datos en terreno, correcto desarrollo metodológico de diseño y uso posterior de los resultados, requieren conocer más en profundidad los factores causantes de la erosión y su proceso. Un sistema de tratamientos de conservación no puede ser generalizado, requiere del estudio de caso en particular, según López et al (1994), son un conjunto de principios y técnicas, que por separado difícilmente cumplen el objetivo deseado. En consecuencia, cada medida, en general, y cada una, en particular, están condicionadas por una serie de parámetros; climáticos, geomorfológicos, edafológicos, agrotécnicos e hidrológicos.

#### 2.1 EROSIÓN

Proceso físico de remoción acelerada de partículas de suelos producidos por el agua, viento, glaciares o acción geológica y/o generada por la acción antrópica.

**Factores que intervienen en la Erosión:** En el caso de la erosión hídrica se considera que las precipitaciones, relieve (en especial pendiente en cuanto a longitud y grado), características edáficas (textura, estructura, permeabilidad, contenido de materia orgánica entre otras) y cobertura vegetal son los factores que inciden directamente en la erosión de los suelos, cada uno actuando de manera particular de la siguiente manera:

- **Precipitaciones:** Factor climático relevante en causar la erosión de los suelos (Peralta, 1976). Cuando la cantidad de agua de lluvia excede a la capacidad de absorción o infiltración, el agua de exceso fluye sobre la superficie, fenómeno denominado **escorrentía superficial** (López et al, 1994), que en conjunto con el efecto de la gota de lluvia generan la erosión. Los factores que intervienen en la escorrentía son la cantidad, intensidad y duración de las lluvias, además de la distribución de las precipitaciones respecto del tiempo, lo cual determina las condiciones precedentes de humedad del suelo. De éstos el factor pluviométrico más importante que afecta la escorrentía y por ende a la erosión, es la intensidad (Peralta, 1976). Por ejemplo, dos zonas que en un período de tiempo tengan precipitación total semejante, pero que, en un sector se distribuye de forma homogénea y en el otro, en reducidos e *intensos* eventos pluviométricos, es de esperar, que en el segundo caso se presenten procesos erosivos de mayor magnitud. Además de que el suelo está más expuesto a la acción erosiva del agua, debido a que el desarrollo de la vegetación es menos exuberante que en el primer caso, con precipitaciones en período de tiempo mayor.

- **Cobertura vegetal:** La importancia de este factor radica en la protección física que otorga al suelo, por medio de la interceptación directa de la precipitación, o a través de la hojarasca,

que protege al suelo del impacto de la gota de lluvia y aumenta la rugosidad superficial del suelo, disminuyendo el efecto erosivo de la escorrentía superficial. Además, mejora las características edáficas, proporcionando mayor sustento a través del sistema radicular y modificando propiedades de los suelos como estructura y permeabilidad entre otras, todas propiedades del suelo que inciden en la resistencia que éste ofrece a ser erosionado.

- **Relieve:** Factor con efecto directo sobre la erosión, tanto del micro como del macrorelieve, destacando especialmente la característica del macrorelieve, **pendiente del terreno**, preponderante en el desarrollo de la erosión. Tanto la velocidad como la energía erosiva de la escorrentía superficial, se ve fuertemente afectada por la inclinación, como por la longitud de la pendiente. Suárez de Castro (1979) explica en forma teórica las relaciones entre la pendiente y la magnitud de la velocidad del agua y su correspondiente poder erosivo de la siguiente forma:

1. *La velocidad varía con la raíz cuadrada de la distancia vertical (longitud e inclinación) que ella recorre y su capacidad erosiva, de acuerdo con el cuadrado de la velocidad. Es decir, si la pendiente del terreno se aumenta cuatro veces, la velocidad del agua que fluye sobre él se duplica y su capacidad erosiva se cuadruplica.*
2. *La cantidad de material de determinado tamaño que puede arrastrar varía con la quinta potencia de la velocidad del flujo.*
3. *El tamaño de las partículas que pueden transportarse por rodamiento varía con la sexta potencia de la velocidad del agua. De manera que si se duplica la velocidad de la escorrentía la cantidad de material de determinado tamaño que puede transportarse, se aumenta 32 veces y el tamaño de las partículas que pueden transportarse por rodamientos se aumenta 64 veces.*

Conceptos que muestran la importancia de la distancia vertical de la pendiente (longitud y grado) sobre la erosión, del mismo modo la relevancia de poder reducir cualquiera de éstas características, permitiendo la deposición de partículas de suelo desplazada por la acción del agua.

- **Suelo:** Sus características tanto físicas como químicas, determinan su capacidad de infiltrar y retener agua, como su resistencia a la acción erosiva del agua (erodabilidad), de ahí la importancia de conocer e identificar características como textura, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad entre otras.

#### 2.2 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

El diagnóstico requiere el desarrollo de los siguientes puntos:

- 1.- Determinar la superficie degradada a mitigar, definir categorías de erosión e identificar causas y problemas; escorrentía superficial, flujos hídricos del cauce o de la cárcava, etc. **Criterios indispensables**, para selección de las obras a utilizar.

- 2.- Toma de datos de terreno, y recopilación de antecedentes pluviométricos, para el diseño de obras de conservación;

En forma práctica este análisis se ve afectado por condicionantes de tipo económico y técnico – legal como son; disponibilidad financiera, normativa vigente (número de obras, dimensión y distribución espacial; D.L. 701) y capacidad de gestión del propietario.

##### 2.2.1 Categoría erosión

Se deben identificar (el) o (los) grados de erosión presentes en la zona a mitigar, zonificando por áreas homogéneas.

A partir de criterios técnicos, expuestos en el **artículo 21º de las disposiciones de las normas técnicas reglamentarias del D.L.701** (Francke et al, 1999).

##### 2.2.2 Antecedentes Pluviométricos

Siendo las precipitaciones las que más influyen en la ocurrencia de la Erosión, el diseño de obras estará directamente relacionado con las magnitudes e intensidades que éstas presenten en el sector a tratar. La información básica a utilizar es; registro

anual de las precipitaciones máximas en 24 horas, de una serie no inferior a 5 años y 10 o más años como óptimo (menor número de datos, implica menor precisión en las estimaciones estadísticas), de la estación meteorológica más cercana y representativa del sector. A partir de ésta información por medio de la **distribución de Gumbel** (Monsalve, 1999) y de la metodología propuesta por **Espíldora** (Espíldora, 1971) podrán ser inferidos los valores de intensidad y magnitud de precipitación, en periodos de tiempo pequeños (menores a 24 horas, generalmente menor o igual a 1 hora), datos indispensables en el dimensionamiento de las obras.

### 2.2.3 Toma de datos en terreno

Para el diseño de las obras (canales de desviación y zanjias de infiltración), es indispensable tomar en terreno los siguientes datos característicos del lugar a mitigar.

**Suelo:** Respecto a este factor debemos obtener la **textura, permeabilidad y rugosidad** (Tabla Nº 8) que presentará el canal. La permeabilidad podrá ser obtenida en forma indirecta por medio de la textura (Tabla Nº 1) o mediante observación directa de terreno.

**Tabla Nº 1: Estimación de la permeabilidad a partir de la textura**

Textura	Mínima Tasa de infiltración *	Permeabilidad
Arenosa, Arenoso Franco	7.62 – 11.43 mm/hr	Muy permeable
Franco arenoso; Franco; Franco Limoso; Franco arcilloso	1.27-7.62 mm/hr	Semipermeable
Arcilloso	0 – 1.27 mm /hr	Impermeable

\* Adaptado de Martínez de Azagra, (1996).

La estimación de la permeabilidad a través de la tabla, no reemplaza la observación en terreno, ya que factores tales como presencia de estratas duras en el horizonte del suelo alteraran la permeabilidad.

**Relieve-Área de mitigación:** Se requiere la **pendiente, área de impluvio** (superficie cuyas aguas vierten sobre el canal) y la **distancia más lejana del área de recepción** hacia el canal de desviación.

**Cobertura Vegetal:** Se debe caracterizar qué tipo de cubierta vegetal tiene el área a tratar (pastizal, matorral, bosque).

## 3. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN Y CANALES DE DESVIACIÓN DE AGUA

Existen obras de conservación de suelo, que aumentan la infiltración como son las zanjias y otras que regulan el flujo hídrico como son las canales de desviación (Francke et al, 1999). El diseño de estas obras, necesita del análisis de precipitaciones, que estime magnitudes e intensidades de precipitaciones en periodos de tiempos pequeños, que inciden directamente en la dimensión de las obras a construir. Con esta información y el detalle de los datos de terreno, se determina la **escorrentía** que deberá controlar cada obra de conservación, **escorrentía crítica**, debiéndose diseñar de esta manera un canal de desviación o zanja de infiltración capaz de trasladarla o retenerla en parte.

### 3.1 ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

La gran escasez de datos pluviométricos disponibles para cada localidad de nuestro país, hace necesario métodos analíticos de estimación. En especial sobre intensidades o magnitudes de lluvia, para duraciones pequeñas.

La información pluviométrica puede ser expresada de dos formas, según Espíldora (1979) **magnitud de lluvia**, lámina de agua (mm) que se produce en un cierto intervalo de tiempo o duración, o en términos de **intensidad**, es decir, lamina de agua por hora (mm/hr); por ejemplo es posible expresar la magnitud de lluvia de 10.36mm en 10 min., en términos de intensidad, que es igual a 62.16 mm/hr.:

$$I_t = \left( \frac{P_{ptmin}}{t_{min}/60} \right) = \left( \frac{1036mm}{10min/60min} \right) = 6216 \text{ mm/hr}$$

$I_t$  = Intensidad en un tiempo t (mm/hr)

$P_p$  = Precipitación en t min (mm)

t = tiempo t min

### 3.1.1 Análisis de Frecuencia

El dimensionamiento de obras de conservación de suelo, debe estar asociado a un periodo de duración, considerando que las obras están insertas en áreas forestadas, debiendo tener una vida útil, no inferior al periodo en el cual la plantación alcanza una cobertura protectora contra la acción erosiva del agua lluvia. Debido a la gran variabilidad que sufren las precipitaciones de un año a otro, Millan (2000) recomienda dimensionar las obras para un periodo de retorno de 10 años. Entiéndase **periodo de retorno**, como el intervalo promedio de tiempo, dentro del cual cierta magnitud o intensidad de lluvia, se iguala o excede una vez, cabe mencionar que el valor recíproco del periodo de retorno es la **probabilidad de excedencia**, es decir, la probabilidad anual de igualar o sobrepasar cierta magnitud del fenómeno en estudio, por ejemplo una zona con una precipitación máxima en 24 horas de 100mm, con periodo de retorno de 10 años, quiere decir, que cada 10 años es esperable la ocurrencia de una lluvia igual o superior, por otra parte existe la probabilidad de excedencia de un 10% anual, que se pueda igualar o exceder en 24 horas los 100 mm.

Para el análisis de precipitaciones, la información básica es un registro anual de máximas precipitaciones en 24 Horas ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ), valores de entrada para el estudio de lluvias asociadas a un periodo de retorno, utilizándose la distribución de **Valores extremos o Gumbel**, comúnmente usada para análisis de frecuencia de variables hidrológicas (Monsalve, 1999), por ejemplo López et al (1994) propone utilizar esta distribución en la estimación de caudales máximos, con periodo de retorno asociado.

La distribución de gumbel, según Millan (2000) tiene la siguiente función de distribución de probabilidad:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

y por lo tanto, la función de densidad de probabilidad es :

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\beta)-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

En directa relación con el **análisis de frecuencia**, se encuentra el calculo de los valores  $\alpha$  y  $\beta$  los cuales se obtienen a partir del registro de valores de precipitaciones. En primer término se obtienen los valores de  $\mu_y$  y  $\sigma_y$  de tabla, según el número de registro de precipitaciones (Tabla Nº 2), con estos valores, además del promedio ( $\bar{x}$ ) y desviación estándar ( $s$ ) de las máximas precipitaciones anuales, se obtienen los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  por medio de las Ecuaciones Nº 1 y 2.

**Tabla Nº 2: Valores  $\mu_y$  y  $\sigma_y$  para el cálculo de parámetros  $\alpha, \beta$  de la función de Gumbel (Según Monsalve, 1999)**

n-1 años	$\mu_y$	$\sigma_y$	n-1 años	$\mu_y$	$\sigma_y$
2	0.4043	0.4984	9	0.4902	0.9288
3	0.4286	0.6435	10	0.4952	0.9497
4	0.4458	0.7315	11	0.4996	0.9676
5	0.4588	0.7928	12	0.5035	0.9833
6	0.469	0.8388	13	0.507	0.9972
7	0.4774	0.8749	14	0.51	1.0095
8	0.4843	0.9043	15	0.5128	1.0206

**Ecuación Nº 1 y 2 : Calculo de parámetros función de Gumbel (Millan et al, 2000)**

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{s} ; \beta = \bar{x} - \frac{\mu_y}{\alpha}$$

En donde :

$\bar{x}$  : Promedio de Precipitaciones en 24 horas (mm).

$s$  : Desviación estándar de Precipitaciones en 24 horas.

$n$  : Número de registro ( $P_p$  máximas en 24 horas).

Según Millan et al (2000), obtenidos los parametros  $\alpha$  y  $\beta$  es posible calcular las precipitaciones máximas en 24 horas ( $P_{max}$ ) para un periodo de retorno R, a partir de la siguiente formula:

**Ecuación N° 3: Calculo de Precipitación Máxima (Millán et al, 2000)**

$$P_{max} = \beta - \left(\frac{1}{\alpha}\right) * \ln \left[ \ln \left( \frac{R}{R-1} \right) \right]$$

$P_{max}$ : Precipitación máxima en 24 horas asociado a un periodo de retorno R.  
 $R$ : Periodo de retorno.  
 $\alpha, \beta$ : Parámetros de calculo (Ecuación N° 1 y 2)

Siendo  $P_{max}$  el valor de entrada para la obtención de valores de magnitud e intensidad de precipitaciones.

### 3.1.2 Análisis de Magnitudes e Intensidades de Lluvia para Duraciones Pequeñas

Es necesaria la estimación de valores de magnitudes e intensidades en periodos cortos de tiempo (generalmente igual o menor a 1 hora), las cuales inciden directamente en el aporte máximo de escorrentía que deberán soportar las obras de conservación de suelo.

#### 3.1.2.1 Coeficientes de Duración

Para estimaciones de magnitudes e intensidades de precipitación en periodos cortos de tiempo pequeño a partir de precipitaciones en 24 horas (Sec 3.1.1), se utilizan los **coeficientes de duración** propuestos por Espíldora, definidos como el cociente entre la precipitación caída en "t" min. y la precipitación correspondiente en 1 hora, asociadas a un mismo periodo de retorno. La mayor utilidad de los coeficientes de duración propuesto por Espíldora, se debe a que fueron calculados, a partir del régimen pluviométrico de Chile (Tabla N°3 y Fig. N°1).

**Ecuación N° 4: Calculo de coeficiente de duración**

$$CD_t = \frac{P_t(mm)}{P_{60}(mm)}$$

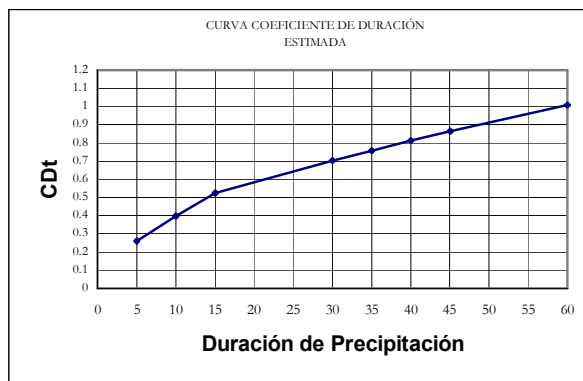
$CD_t$ : Coeficiente de duración para t min.  
 $P_t$ : Precipitación para t min.  
 $P_{60}$ : Precipitación en 60 min

**Tabla N° 3: Coeficientes de Duración (Espíldora, 1971)**

Duración t	Coeficiente CDt
5 min.	0.26
10 min.	0.4
15 min.	0.53
30 min.	0.7
45 min.	0.86
60 min.	1
120 min.	1.4
24 hrs.	4.04

Por ejemplo si queremos obtener la precipitación ocurrida en 10 minutos a partir de la ocurrencia de una precipitación de 30mm en 1 hora; primero debemos obtener el coeficiente de duración, en este caso de 0.4 para 10 minutos (Tabla N° 3, valor que también puede ser obtenido del grafico N° 1), por lo tanto la magnitud de precipitación en 10 minutos es 12 mm deducida de la ecuación N° 4.

$$CD_t = \frac{P_t(mm)}{P_{60}(mm)} \Rightarrow P_t(mm) = CD_t * P_{60}(mm) \Rightarrow P_{10min} \Rightarrow 0.4 * 30mm = 12mm$$



**Fig. N°1: Curva de coeficiente de duración estimada a partir de los datos generados por Espíldora**

Las curvas de intensidad, duración y frecuencias estimadas por Espíldora (Bonelli, 1986), y las calculadas con posterioridad por Varas y Sánchez, con un número superior de datos pluviométrico, tienen diferencias significativas en los coeficientes de duración para 24 horas ( $CD_{24hr}$ ); Espíldora: 4.04 y Varas y Sánchez: 6.45, diferencia superior al 60%, Bonelli (1986) explica que las estimaciones a partir del valor propuesto por Espíldora, exceden a las precipitaciones reales, en la mayoría de los casos. Ante esta situación se recomienda utilizar un coeficiente de duración intermedio (Montti<sup>1</sup>, 2002) es decir 4.9, valor propuesto por Grunsky.

#### 3.1.2.2 Cálculo de magnitudes e intensidades de lluvias

Conocida la precipitación en 24 horas ( $P_{max}$ ) asociado a un periodo de retorno R (Sección 3.1.1; Ecuación N° 3) se determina la magnitud e intensidad de la precipitación, para un tiempo t, con el mismo Periodo de Retorno R, a partir de las siguientes ecuaciones.

**Ecuación N° 5: Cálculo de Magnitud de Precipitación en un tiempo t para un periodo de retorno R (Espíldora, 1971)**

$$P_t = \left( \frac{CD_t}{CD_{24}} \right) * P_{max} \quad ; \quad P_t = \left( \frac{CD_t}{4.9} \right) * P_{max} * xK$$

**Ecuación N° 6: Cálculo de Intensidad en un tiempo t para un periodo de retorno R (Espíldora, 1971)**

$$I_t = \frac{1}{t} * x \left( \frac{CD_t}{CD_{24}} \right) * P_{max} \quad ; \quad I_t = \frac{1}{t} * x \left( \frac{CD_t}{4.9} \right) * P_{max} * xK$$

- I t**: intensidad de precipitaciones en t min. con periodo de retorno de R años. (mm/hr)
- t**: Tiempo de precipitación en t min.
- P<sub>t</sub>**: precipitación en t min. con un periodo de retorno R años (mm).
- P<sub>max</sub>**: precipitación en 24 hrs con periodo de retorno R años (mm). (Sec. 3.1.1)
- CD<sub>t</sub>**: coeficiente de duración en t min.
- CD<sub>24</sub>**: Coeficiente de duración en 24 horas
- K**:  $P_{24}/P_d = 1.1$ : Cuociente entre la lluvia caída en 24 horas ( $P_{24}$ ) y la lluvia diaria (Pd) (Vargas y Sánchez, citado por Bonelli 1986).

Los valores de magnitud e intensidad, obtenidos precedentemente a partir de las ecuaciones anteriores originan la curva de intensidad duración y frecuencia (Fig. N° 2), valores que más tarde serán utilizados en el diseño de zanjas y canales respectivamente

<sup>1</sup> Geólogo, EDRA. S.A.

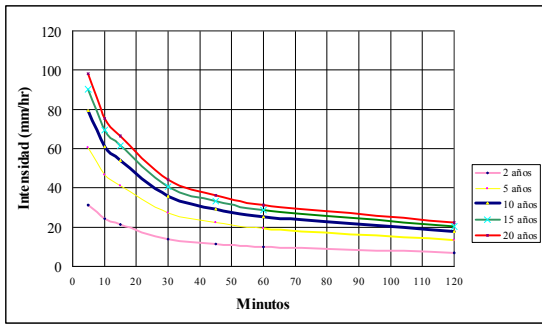


Fig. N° 2: Curva duración intensidad frecuencia comuna Paredones.

### 3.2 DETERMINACIÓN DE COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Según Monsalve (1999), coeficiente de escorrentía se define como, la relación entre el volumen de escorrentía superficial total y el volumen total de agua precipitada, en un intervalo de tiempo dado ( $C = \frac{E_s}{P}$ ).

Interesante resulta hacer referencia al excelente tratado de coeficientes de escorrentía desarrollado por Martínez de Azagra (2006). Según el autor el coeficiente de escorrentía depende de numerosos factores: del tipo de precipitación (lluvia, nieve o granizo), de su cantidad, de su intensidad y distribución en el tiempo; de la humedad inicial del suelo; del tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, materia orgánica, grado de compactación, pendiente, microrrelieve, rugosidad), del tipo de cobertura vegetal existente; de la intercepción que provoque; del lapso de tiempo que consideremos (minutos, duración del aguacero, horas, días, meses, un año), etcétera. Dependiendo del lapso de tiempo al que se refiere el coeficiente de escorrentía, éste cambia de valor y hasta de significado. Así cabe hablar de coeficiente de escorrentía instantáneo, coeficiente de escorrentía máximo, coeficiente de escorrentía medio, coeficiente de escorrentía anual.

Debido a la distinta funcionalidad para la cual están diseñados los canales de desviación y zanjales de infiltración (desviación y cosechas de aguas lluvias), es que se hace necesario utilizar coeficientes de escorrentía distintos, que recojan los principios de diseño de cada obra.

### 3.3 DISEÑO DE CANALES DE DESVIACIÓN

Un canal debe ser capaz de encauzar las aguas vertidas en él, originadas de la máxima escorrentía que pueda ocurrir en el área de impluvio, en un tiempo determinado, **escorrentía crítica**. (Suarez de Castro, 1979).

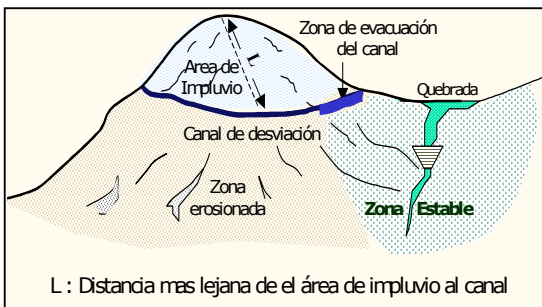


Fig N°3: Diagrama de ubicación y sistematización del canal de desviación

#### 3.3.1 Cálculo de Escorrentía Crítica

La Escorrentía que deberá evacuar el canal de desviación dependerá de:

- La máxima intensidad de lluvias que puedan ocurrir en un periodo y tiempo determinado.
- Característica de las vertientes (pendiente, cubierta vegetal, suelo, etc.)
- Extensión de la ladera. (área de impluvio)

Según Ramser (Suárez de Castro, 1978; Morales, 1995), la escorrentía crítica se puede calcular a partir de la siguiente fórmula:

**Ecuación N°7: Cálculo de la Escorrentía Crítica (Suárez de Castro, 1979)**

$$Q_{esc} = \frac{C \times I \times A_i}{360}$$

En donde:

- $Q_{esc}$  : Escorrentía crítica (m<sup>3</sup>/seg);
- $C$  : Coeficiente de escorrentía (Tabla N°4);
- $I$  : Intensidad crítica de las precipitaciones (mm/hr) y
- $A_i$  : Área de impluvio (hectáreas)

#### Coeficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía utilizado para el diseño de canales de desviación es el cociente entre el caudal punta en la sección de cierre y la intensidad media de lluvia caída en la cuenca, se trata de un coeficiente de escorrentía medio máximo, referido al intervalo de tiempo  $T_c$  (tiempo de concentración)

Al respecto señala Chow (1994), que el coeficiente de escorrentía ( $C$ ), es la variable menos precisa para el cálculo de la escorrentía crítica ( $Q_{esc}$ ). La certeza del valor tabla dependerá de la experiencia en terreno de quien diseñe las obras de conservación.

Tabla N° 4: Coeficiente de Escorrentía (Benites et al, 1980)

Cobertura Vegetal	Tipo de suelo	>50%	20-50 %	5-20%	1-5%	0-1%
Sin Vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.55	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos, Veg ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba, Grama	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosque, Densa Veg.	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

#### - Intensidad crítica de las precipitaciones (I)

Definida como la máxima intensidad que puede ocurrir en un tiempo igual al tiempo de concentración ( $T_c$ ), entiéndase tiempo de concentración según Suarez de Castro (1979), como el tiempo que ocupa una gota de agua en moverse desde la parte más lejana de la vertiente hasta el desagüe (ver Fig. N° 3). El tiempo de concentración puede estimarse por medio de la ecuación N° 8 u 9 o gráfico Fig. N° 4.

**Tabla N° 5: Velocidad de agua (Benitez et al, 1980)**

Descripción de la Vertiente	Velocidad en metros por segundo					
	Pendiente del terreno en porcentaje					
	0-4	4-10	10-15	15-20	20-25	25-30
Con Bosque	0.3	0.6	1	1.2	1.5	1.5
Con potrero	0.45	0.9	1.2	1.5	1.6	1.8
Con cultivo limpio	0.6	1.2	1.5	1.7	1.8	1.9

**Ecuación N° 8: Calculo del tiempo de concentración**

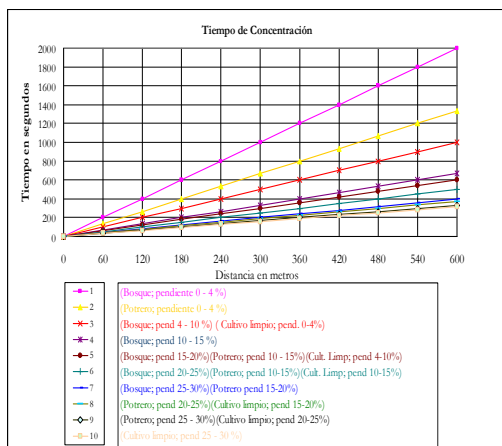
$$T_c = \frac{L}{V_{\text{agua}}}$$

- $T_c$  : Tiempo de concentración (seg.)
- $L$  : Distancia mas lejana aportante al canal de desviación o cauce principal(m)
- $V_{\text{agua}}$  : Velocidad de agua (Tabla N°5)

**Ecuación N° 9: Formula de Kirpich para el calculo de tiempo de concentración (Lopez, 1994)**

$$T_c = \left( \frac{0.87 * L^3}{H} \right)^{0.385}$$

- $T_c$  : Tiempo de concentración (Hr)
- $L$  : Distancia mas lejana aportante al canal de desviación o cauce principal (Km)
- $H$  : Diferencia de nivel, entre la salida de la cuenca y el punto hidráulicamente mas alejado(m).



**Fig. N° 4: Gráfico "Tiempo de concentración" (Adaptado de Benitez et al, 1980)**

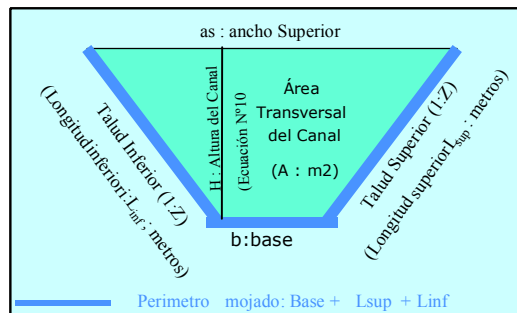
Conocido el tiempo de concentración ( $T_c$ ), para el canal a diseñar, se debe obtener el valor de intensidad crítica ( $I$ ) para el cálculo de la escorrentía crítica, con un tiempo  $t$  igual al tiempo de concentración  $T_c$  (Sección 3.1.2.2; Ecuación N° 6)

### 3.3.2 Especificaciones Técnicas de diseño del canal.

Un canal de desviación adecuado debe contener la escorrentía crítica (Sección 3.2.1; Ecuación N°7), y según el terreno, conducir el caudal a una velocidad menor que la máxima permitida para que la estructura del canal no se socave. Obtenida la escorrentía crítica y máxima velocidad permitida, se determina el **área mínima** que deberá poseer la sección transversal, a partir de la cual el canal podrá cumplir con las características anteriormente señaladas.

### - Máxima Velocidad del agua

Según Suárez de Castro, depende de la naturaleza del material, en el cual se construye el canal (Tabla N° 6).



**Tabla N° 6: Máximas velocidades permitidas en canales ( $V_{max}$ ) (Suárez de Castro, 1978)**

Material	Velocidad media en metros por segundo
Suelo Arenoso muy suelto	0.3 - 0.45
Arena gruesa o suelo arenoso suelto	0.45 - 0.6
Suelo arenoso promedio	0.6-0.75
Suelo franco arenoso	0.75 - 0.83
Suelo franco de aluvión o ceniza volcánica	0.83-0.9
Suelo franco pesado o franco arcilloso	0.9-1.2
Suelo arcilloso o cascajoso	1.2-1.5
Conglomerado, cascojo cementado, pizarra blanda, hard pan, roca sedimentaria blanda	1.8-2.4
Roca dura	3-4.5
Hormigón	4.5-6

### - Área mínima

El diseño de un canal de desviación, requiere de una serie de iteraciones, a partir de una sección transversal del canal, la cual como mínimo debiera tener una superficie igual o mayor a la calculada según la Ecuación N° 10.

**Ecuación N° 10: Área mínima de diseño del Canal**

$$A_{\min} = \frac{Q_{\text{esc}}}{V_{\max}}$$

- $V_{\max}$  : Máxima velocidad permitida (Tabla N° 6)
- $Q_{\text{esc}}$  : Escorrentía crítica (Ecuación N° 7)

### 3.3.3 Diseño sección transversal

Una vez conocidas las especificaciones de escorrentía crítica, máxima velocidad permitida y área mínima, se deberá realizar una serie de iteraciones, de sucesivas secciones transversales, a fin de encontrar aquella sección que sea capaz de trasladar de manera segura el caudal para el cual se diseña. Para este fin se propone una metodología, descrita a continuación:

- Selección de área, para la primera iteración, se recomienda utilizar un área igual o superior al área mínima de diseño (Ecuación N° 10).
- Determinación de parámetros de la sección transversal base y taludes, según experiencia de terreno.
- Cálculo de los parámetros de altura ( $H$ , Ecuación N° 11), ancho superior ( $a_s$ , Ecuación N° 12), longitud de taludes inferior y superior ( $L_{inf}$  y  $L_{sup}$ , Ecuaciones N° 13 y N° 14) y radio hidráulico ( $r$ , Ecuación N° 15).

4. Asignación de pendiente del canal (Según experiencia en terreno) y determinación de un coeficiente de rugosidad ( $n$ , Tabla N° 8).
5. Cálculo del caudal y velocidad de transporte del canal. (Ecuaciones N° 17 y 18 respectivamente)
6. Realización de test de control de las especificaciones técnicas del canal (Sección N° 3.2.5).
7. Si el canal no satisface las especificaciones técnicas, se procede a un nuevo diseño, según las opciones:
  - modificación de la pendiente y luego se realiza nuevamente el test de control o,
  - modificación de la sección transversal (se recomienda un aumento de un orden del 5-10% respecto a la última iterada), volviendo a la secuencia a partir del punto N° 2 de esta sección.

Aprobado las condicionantes técnicas, el test de control de calidad de diseño, el perfil de canal podrá ser implementado en terreno.

**Fig N°5: Esquema de Sección Trapezoidal de Canal de desviación**

**- Cálculo de los componentes de la sección transversal.**

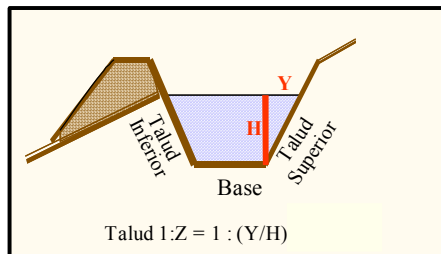
Los datos de entrada para el diseño del canal, son los siguientes:

Área de sección transversal de canal :  $A_c$  (Superior al Área mínima)  
 Base del canal :  $b$   
 Talud inferior :  $Z_{inf}$   
 Talud superior :  $Z_{sup}$

**Área ( $A_c$ ):** Área de diseño, se recomienda utilizar como primera iteración el área mínima de diseño ( $A_{min}$ ; Ecuación N° 10) o una levemente superior y aumentar en cada iteración entre un 5 – 10 %, hasta encontrar el diseño adecuado

**Base ( $b$ ):** Valor predefinido normalmente igual a 0,2 m.

**Talud inferior y superior:** Entiéndase taludes la inclinación que poseen las paredes laterales del canal y las cuales se expresan en forma de proporción, en donde 1: Z se representa de la siguiente manera:



**Fig. N° 6: Taludes en sección transversal**

Importante en la determinación de los taludes del canal, que éstos sean adecuados para cada tipo de suelo, de modo que el canal no se desmorone ( $Z_{inf} - Z_{sup}$ ), teniendo cuidado de manera especial en obras de conservación desarrollados en suelos de texturas livianas (arenosas), las cuales deben tener taludes mayores (ver recomendaciones hechas por el Ministerios de Obras Públicas, para canales de drenaje o protección de carreteras (ver Tabla N° 7).

Tabla N° 7: Taludes recomendados para la sección trapezoidal de un canal (MOP, 1981)

Terreno	Talud (Z)
Roca	Casi vertical
Turba	0.25
Arcilla y revestimiento de hormigón	0.5 – 1
Tierra	1
Suelo arenoso	2

Se debe considerar que para una misma sección transversal, aquella que posee el mayor radio hidráulico (proporción entre el área transversal  $A_c$  y el perímetro mojado; Fig. N° 5), es aquella sección capaz de trasladar un mayor caudal (En las secciones desarrolladas para obras de conservación de suelo en el marco del D.L 701, estos taludes (Z) se encuentran entre 0.3 y 1.

**Ecuación N° 11: Determinación de Altura de Sección transversal del canal**

$$H = \frac{-2b + \sqrt{4b^2 + 4(Z_{inf} + 8Z_{sup})(2A_c)}}{2(Z_{inf} + Z_{sup})}$$

En donde

$b$  : base  
 $Z_{inf}, Z_{ext}$  : Talud inferior y superior respectivamente  
 $A_c$  : Área de la Sección transversal del canal

Una vez calculada la altura se procede al cálculo de las siguientes componentes de la sección transversal del canal

**Ecuación N° 12: Cálculo de Ancho superior de Sección transversal del canal de desviación**

$$a_s = b + H * Z_{inf} + H * Z_{sup}$$

En donde:

$a_s$  : ancho superior

**Ecuación N° 13: Cálculo de Longitud de Talud Inferior**

$$L_{inf} = \sqrt{H^2 + (H * Z_{inf})^2}$$

**Ecuación N° 14: Cálculo de Longitud de Taludes Superior**

$$L_{sup} = \sqrt{H^2 + (H * Z_{sup})^2}$$

**Ecuación N° 15: Cálculo del Radio Hidráulico Para una Sección Trapezoidal**

$$r : \text{Radio - hidraulico} : \frac{\text{Area - transversal } l}{\text{Perimetro - mojado}} : \frac{A_c}{(b + L_{sup} + L_{inf})}$$

**Opcionalmente para comprobar si los cálculos de los parámetros de la sección transversal fueron bien efectuados, se recomienda calcular el área de la sección transversal con la ecuación N° 16, que debiera ser igual al área de diseño  $A_c$ .**

**Ecuación N° 16: Cálculo de Área de Sección transversal**

$$A_c = (b + a_s) * \frac{H}{2}$$

**3.3.4 Capacidades del canal diseñado**

Una vez diseñada la sección transversal del canal, es asignada una pendiente para el canal, y se determina el coeficiente de rugosidad del canal que corresponde a las condiciones de terreno ( $n$ ; según Tabla N° 8). Con estos valores se calcula la velocidad y el caudal que transportará el canal por medio de las ecuaciones de Manning descritas a continuación.

**Tabla N°8: Valores de n para formulas de Manning (Morales et al, 1995)**

Valores de n Canales y zanjas	Condición de paredes		
	Malo	Regular	Bueno
En tierras, alineados y uniformes	0.02	0.0225	0.025
En rocas lisos y uniformes	0.03	0.033	0.035
Sinuosos y de escurrimiento lento	0.025	0.0275	0.03
Dragados en tierra	0.0275	0.03	0.033
Con lecho pedregoso	0.03	0.035	0.04
Y bordes de tierra enhierbados			
Fondo (plantilla de tierra, taludes ásperos)	0.03	0.033	0.035

**Ecuación N° 17: Calculo de Caudal según Manning (Suarez de Castro 1979; Lopez et al, 1995)**

$$Q_c = \frac{1}{n} A r^{\frac{2}{3}} s^{\frac{1}{2}}$$

**Ecuación N° 18: Calculo de velocidad de un canal según Manning (Suarez de Castro 1979; Lopez et al, 1995)**

$$V_c = \frac{1}{n} r^{\frac{2}{3}} s^{\frac{1}{2}}$$

- $V_c$  : Velocidad media del agua en el canal (m/seg)  
 $Q_c$  : Caudal del canal en (m3/seg)  
 $n$  : coeficiente de fricción (condición del canal Ver Tabla N°8)  
 $r$  : radio hidráulico (área transversal del canal, en metros cuadrados dividida por el perímetro mojado, en metros; Ecuación N°15).  
 $s$  : pendiente del canal.  
 $A$  : Area del canal (como mínimo Ecuación N° 10) A m.

### 3.3.5 Test de control de especificaciones técnicas del canal

Obtenidos los valores del caudal y velocidad se verifica si el diseño del canal se encuentra realizado en concordancia con las **especificaciones técnicas** (descritas en la sección 3.2.2). De no ser así, se deberá realizar un nuevo diseño (modificando la pendiente y/o la sección transversal), que deberá someterse nuevamente a verificación, así sucesivamente hasta encontrar el diseño adecuado.

#### - Condicionantes Técnicas

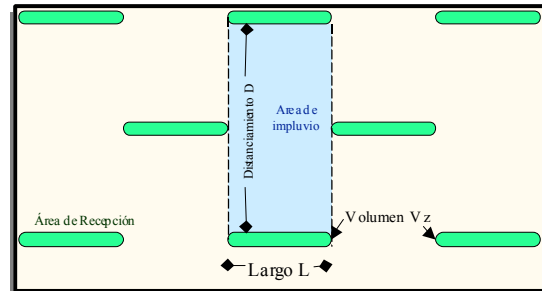
De esta forma el diseño de un canal deberá cumplir con las siguientes características:

- **Area del canal sea mayor o igual que el área mínima ( $A_{min}$  :  $Q_{esc}/V_{max}$  en donde  $Q_{esc}$ : **escorrentía crítica**; Ecuación N° 7 y  $V_{max}$ : **Velocidad máxima permitida**; Tabla N°6)**  
 $A_c$  (Ecuación N° 16)  $\geq A_{min}$  (Ecuación N° 10)
- **Escorrentía crítica ( $Q_{esc}$ ; Ecuación N° 7) sea menor que el caudal  $Q_c$  determinado para el canal diseñado (Ecuación N° 17).**  
 $Q_c$  (Ecuación N° 17)  $\geq Q_{esc}$  (Ecuación N° 7)
- **La velocidad del flujo del canal (Ver Ecuación N° 18) sea menor que la velocidad máxima permitida según las características del canal diseñado ( $V_{max}$ ; Tabla N° 6).**  
 $V_c$  (Ecuación N° 18)  $\geq V_{max}$  (Tabla N° 6)

## 3.4 DISEÑO DE SISTEMA DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Según Martínez de Azagra (2006), un sistema de recolección de agua consiste en dos partes: un área donde se induce y genera la escorrentía superficial (área de impluvio) y un área donde se recogen y almacenan dichos aportes hídricos (el área de recepción o receptora).

Para este análisis será considerado sistema de zanja distribuido en tres tresbolillo, como el descrito a continuación.



**Fig. N° 7: Diagrama de Sistema de Zanja en Tresbolillo, unidad sistematizada.**

El presente modelo recoge las mejoras señaladas en el documento Maucó generalizado (Martínez de Azagra, 2006), el cual distingue entre tres coeficientes de escorrentía ( $CA$  : en la ladera antes de ser intervenida;  $CI$ : en el área de impluvio y  $CR$  en el área de recepción), se incorpora el uso de tablas de coeficiente de escorrentía (ver tabla N° 9), que considera la escorrentía superficial a infiltrar, no así el agua que se va.

### 3.4.1 Precipitación de Diseño

Tradicionalmente se ha utilizado en el diseño de sistema de zanjas de infiltración la Máxima precipitación en una hora con un periodo de retorno asociado (Millan, 2000; Lemus y Navarro, 2003; Pizarro, 2005), valor que puede ser calculado del análisis de precipitaciones descritas en la sección N° 3.1, o bien se puede utilizar una precipitación de diseño que recoja valores tales como precipitación media diaria, o diseñar zanjas capaces de contener algún porcentaje precipitaciones que ocurran durante un año.

#### Coefficiente de Escorrentía

Para el diseño de sistemas de zanjas de infiltración se utilizarán las tablas derivadas de número de curva, (Martínez de Azagra, 2006). Esta metodología subsana las deficiencias generadas al utilizar tablas de coeficientes de escorrentía referidos al tiempo de concentración, ya que éstos son valores máximos durante el aguacero (utilizados para obtener caudales de punta por el método racional). En cambio para el diseño de zanjas de infiltración se necesita valores medios globales, considerando todo el aguacero en su conjunto. Las tablas habituales para estimar coeficientes de escorrentía hacen depender su valor únicamente del tipo de terreno y de su cobertura, en algunos casos también hacen depender de la pendiente y del periodo de retorno. Estas nuevas tablas consideran el tipo de vegetación, condición hidrológica, tipo de suelo, condición de humedad y son de doble entrada ya que dependen de la precipitación de calculo, por lo tanto estas tablas son muchos más detalladas y permiten identificar más fácil cualquier ladera en estudio.

- **Diseño de la sección transversal de la zanja de infiltración**

Por lo tanto el dimensionamiento de las zanjas de infiltración se realizará bajo las siguientes ecuaciones:

**Ecuación N° 19: Cálculo del volumen de Zanja de Infiltración (m3) (Adaptado de Martínez de Azagra, 2006)**

$$V_z = \frac{P_d * (CI * S_1 + CR * S_2)}{1000}$$

**Ecuación N° 20: Cálculo de Área de Zanja de Infiltración (m2) (Adaptado de Martínez de Azagra, 2006)**

$$A_z = \frac{P_d * (CI * D + CR * a_s)}{1000}$$

- $V_z$  : Volumen de zanja (sección transversal :m<sup>3</sup>)
- $P_d$  : Precipitación de diseño (mm).
- $CI$  : Coeficiente de escorrentía área de impluvio.
- $CR$  : Coeficiente de escorrentía área de recepción.
- $S_1$  : Superficie del área de impluvio (m<sup>2</sup>)
- $S_2$  : Superficie del área de recepción (m<sup>2</sup>)
- $d$  : Distancia entre zanjas (m)
- $a_s$  : Ancho superior sección transversal

A partir del área de la sección transversal de la zanja, se procede a su diseño, que requiere como valores de entrada; base (b), taludes (Zinf y Zsup), datos asignados en forma arbitraria, extraídos de la experiencia en terreno. Con esta información se determinan el resto de los componentes de la sección transversal, mediante las siguientes ecuaciones:

- Altura sección transversal :  $H$  (Ecuación N° 11)
- Ancho superior sección transversal  $a_s$  : (Ecuación N° 12)
- Longitud del talud inferior :  $L_{inf}$  (Ecuación N° 13)
- Longitud del talud superior:  $L_{sup}$  (Ecuación N° 14)

Obtenidos los resultados anteriores, se podrá construir la matriz de la zanja, que más tarde podrá ser ejecutada en terreno

**3.5 RECOMENDACIONES GENERALES**

- En consideración a los diferentes tipos de suelos que podemos encontrar es recomendable determinar adecuadamente los taludes, ya que una mala determinación de éstos tendría como consecuencia el socavamiento de sus paredes laterales.
- Debido a los accidentes topográficos del micro relieve, la distribución espacial de las obras en terreno se ve en la practica alterada seriamente, pero a pesar de estas dificultades, debiera siempre propenderse a conformar unidades sistematizadas lo más homogéneas posible de acuerdo al diseño original (zanjas, Fig. N°7; canales Fig. N°3). Entiéndase como unidad sistematizada, la conformada por una área de captación de aguas lluvias (área de impluvio) y un área de recepción correspondiente a la obra misma.
- El correcto funcionamiento durante la vida útil estimada para cada obra de conservación, estará directamente relacionada con su mantenimiento, ya que procesos como la sedimentación reducen su capacidad de evacuar o retener escorrentía superficial, según sea el caso, y por ende disminuye el periodo de retorno para el cual fueron construidas.
- El presente Documento subsana las falencias de utilizar tablas de coeficientes de escorrentía generadas para la estimación de caudales máximos a través del método racional: el diseño de sistema de Zanjas de Infiltración requiere de valores medios globales de coeficientes de escorrentía que considere todo un aguacero en su conjunto,

valores que fueron derivados a partir del número de curva (Martínez de Azagra, 2006). Por lo tanto cabe mencionar que para el diseño de sistema de zanjas de infiltración u otro sistema de recolección forestal es conveniente utilizar directamente el método de número de curva (MODIPE, Martínez de Azagra, 1996) el cual además entrega informaciones de gran valor tales como disponibilidad hídrica en el ladera no sistematizada, en el área de impluvio, en el área de recepción entre otra información indispensable para un buen diseño de sistema de recolección de aguas lluvias para la repoblación forestal como diseños de zanjas de infiltración

**BIBLIOGRAFÍA**

Benites, C.; Arias, W. y Quiroz, J. 1980. Manual de Conservación de suelos y aguas. Ministerio de Agricultura y Alimentación. Dirección General de aguas y suelos. Lima, Peru.

Bonelli, A. 1986. Mapas de Isoyetas de Precipitaciones Máximas de 24 – 48 – 72 horas para Diferentes Periodos de Retorno. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Santiago.

Chow, V.; Maidment, D. y Mays, L. 1994. Hidrología aplicada. Ediciones McGraw – Hill.

Francke, S.; Vargas, R.; Williams, E.; Pinto, M. y Barria, B. 1999. Recuperación de Suelos Degradados en el Marco de la Nueva Ley de Fomento Forestal. Corporación Nacional Forestal. Santiago

Espildora. 1971. Estimación de Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia mediante coeficientes generalizados. I Coloquio Nacional, Sociedad Chilena de Ingeniería Hidraulica. Santiago, Chile.

López, F. et al; TRAGSA 1994. Restauración Hidrológica y Forestal de Cuencas y Control de la Erosión. TRAGSA. Tecnologías y Servicios Agrarios S.A. Madrid, España.

Navarro, G.; Lemus, M.; Vásquez, R. y Bravo, R. 2000 Restauración Hidrológica de la Cuenca Poniente del Poblado de Sierras de Bellavista, Corporación Nacional Forestal

Martínez de Azagra, A. 1996. Diseño de sistemas de recolección de agua para la repoblación forestal. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid

Martínez de Azagra, A. 2006 Método de los coeficiente de escorrentía: Maucó Generalizado. Documento inedito. 29 p. Universidad de Valladolid. España.

Millán, J.; Manzanares, P.; García, J; Real, P. 2000. Estudio básico manejo, restauración de suelos y control de erosión cuenca estero Nilahue VI Región. Universidad de Concepción.

Monsalve, G. 1999. Hidrología para Ingeniería. Ed. Alfaomega. México.

Morales, J.; Uzon, V. 1995. Recuperación de Suelos en Sistemas Productivos Campesinos de Chile central. Experiencias practicas para extensionistas. DEFOR, Santiago, Chile.

Peralta, M. 1976. Uso, Clasificación y Conservación de Suelo. Servicio Agrícola y Ganadero. Chile.

Suárez de Castro, 1979. Conservación de suelo. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San Jose, Costa Rica.

Ministerio de Obras Públicas, 1981. Manual de Carreteras. Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Vialidad. Chile.



**ANEXO: RELACIONES ENTRE EL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA Y EL NÚMERO DE CURVA (según Martínez de Azagra, 2006)**

Por definición el Coeficiente de escorrentía medio final de aguacero

se define por la siguiente fórmula :  $C = \frac{E_s}{P}$

En tanto la escorrentía superficial que puede generar cualquier aguacero P, se puede cuantificar mediante el método de numero de curva, según la siguiente ecuación :

$$E_s = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4 * P_0} \text{ si } P > P_0$$

A su vez el umbral de escorrentía  $P_0$  es función del numero de curva:

$$P_0 = 0.2 * \left( \frac{25400 - 254 * N}{N} \right) = \frac{5080 - 50.8 * N}{N}$$

Al combinar estas dos ecuaciones se observa que el coeficiente de escorrentía es función de la precipitación analizada y del número de curva y éste a su vez es función del tratamiento o explotación del terreno, de sus condiciones hidrológicas, del tipo de suelo y del grado de humedad del terreno al comienzo del aguacero.

De esta forma el coeficiente de escorrentía se representa bajo la siguiente fórmula en función del numero de curva:

$$C = \frac{(P - P_0)^2}{P^2 + 4 * P * P_0} = \frac{\left( P - \frac{5080 - 50.8 * N}{N} \right)^2}{P^2 + P * \left( \frac{20320 - 203.2 * N}{N} \right)}$$

Por medio de esta fórmula se puede transformar el número de curva en sus correspondientes coeficientes de escorrentía, ante determinadas precipitaciones.

Tabla N°9: Coeficiente de escorrentía C (para un aguacero de 60 mm y condición II de humedad)

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	0.28	0.48	0.63	0.74
	CR	Pobre	0.26	0.45	0.60	0.70
	CR	Buena	0.22	0.38	0.54	0.60
Cultivos alineados	R	Pobre	0.19	0.36	0.54	0.63
	R	Buena	0.13	0.30	0.45	0.57
	R + CR	Pobre	0.18	0.34	0.51	0.60
	R + CR	Buena	0.09	0.24	0.38	0.45
	C	Pobre	0.17	0.32	0.43	0.54
	C	Buena	0.10	0.24	0.38	0.48
	C + CR	Pobre	0.15	0.30	0.40	0.51
	C + CR	Buena	0.09	0.23	0.36	0.45
	C + T	Pobre	0.12	0.23	0.34	0.38
	C + T	Buena	0.08	0.18	0.30	0.36
	C + T + CR	Pobre	0.10	0.21	0.32	0.36
	C + T + CR	Buena	0.07	0.17	0.28	0.34
	Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	0.10	0.26	0.43
R		Buena	0.08	0.24	0.40	0.51
R + CR		Pobre	0.09	0.24	0.40	0.48
R + CR		Buena	0.06	0.19	0.34	0.43
C		Pobre	0.08	0.23	0.38	0.45
C		Buena	0.07	0.21	0.36	0.43
C + CR		Pobre	0.08	0.21	0.36	0.43
C + CR		Buena	0.06	0.19	0.34	0.40
C + T		Pobre	0.07	0.19	0.32	0.38
C + T		Buena	0.05	0.17	0.30	0.36
C + T + CR		Pobre	0.06	0.18	0.30	0.36
C + T + CR	Buena	0.04	0.15	0.28	0.34	
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	0.12	0.28	0.45	0.57
	R	Buena	0.04	0.19	0.36	0.45
	C	Pobre	0.09	0.24	0.40	0.45
	C	Buena	0.03	0.15	0.30	0.40
	C + T	Pobre	0.08	0.21	0.34	0.40
C + T	Buena	0.01	0.13	0.26	0.34	
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	0.14	0.32	0.48	0.57
	-	Regulares	≈ 0	0.15	0.32	0.43
	-	Buenas	0	0.07	0.22	0.34
Pastizales	C	Pobres	≈ 0	0.13	0.36	0.54
	C	Regulares	0	0.05	0.24	0.40
	C	Buenas	0	0	0.17	0.32
Prados permanentes	-	-	0	0.04	0.18	0.30
	-	Pobres	≈ 0	0.13	0.28	0.40
	-	Regulares	≈ 0	0.03	0.17	0.28
Matorral herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Buenas	≈ 0	≈ 0	0.10	0.21
	-	Pobres	0.04	0.21	0.38	0.48
	-	Regulares	0	0.10	0.26	0.38
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Buenas	0	0.04	0.19	0.32
	-	Pobres	0	0.12	0.28	0.40
	-	Regulares	0	0.06	0.21	0.32
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Buenas	0	0.03	0.17	0.28
	-	Pobres	0.03	0.24	0.48	0.63
	-	Buenas	≈ 0	0.14	0.30	0.43
Bosques	-	I Muy pobre	≈ 0	0.06	0.17	0.30
	-	II Pobre	≈ 0	0.14	0.30	0.43
	-	III Regular	≈ 0	0.06	0.17	0.30
	-	IV Buena	0	0.01	0.08	0.15
	-	V Muy buena	0	0	0.02	0.07
Caseríos	-	-	0.05	0.23	0.38	0.48
	-	-	0.19	0.38	0.51	0.57
	-	-	0.23	0.43	0.60	0.66
Caminos en tierra	-	-	0.19	0.38	0.51	0.57
Caminos en firme	-	-	0.23	0.43	0.60	0.66